



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 52 612.5

Anmeldetag: 12. November 2002


Anmelder/Inhaber: TOPTICA Photonics AG,
Planegg/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zum Überwachen
von in einer optischen Faser geführter Licht-
leistung

IPC: G 02 B, G 01 M

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 13. November 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag



Hoiß

Verfahren und Vorrichtung zum Überwachen von in einer optischen Faser geführter Lichtleistung

Die vorliegende Erfindung betrifft optische Fasern und insbesondere das Messen der in optischen Fasern geführten optischen Leistung. Vorgestellt werden ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum Überwachen von in einer optischen Faser geführter Lichtleistung. Das Verfahren eignet sich insbesondere zur Regelung der Lichtleistung einer Lichtquelle oder alternativ zur Regelung des Einkoppelmechanismus der Lichtquelle in die optische Faser.

Unter dem Begriff „optische Faser“ wird nachfolgend ein faserartiger, dielektrischer Körper verstanden, welcher eine erste Region mit relativ hohem Brechungsindex (sogenannter „Kern“, englisch: „core“) sowie eine die erste Region umgebende zweite Region mit relativ niedrigem Brechungsindex (sogenannter „Mantel“, englisch: „cladding“) aufweist. Der Mantel kann zusätzlich von einer äußeren Schutzschicht (englisch: „coating“) umgeben sein. Eine optische Faser ist zur verlustarmen Leitung elektromagnetischer Strahlung im ultravioletten, sichtbaren oder infraroten Bereich optimiert.

Unter dem Begriff „laseraktive optische Faser“ wird nachfolgend eine optische Faser verstanden, deren Kern mit einem laseraktiven Material dotiert ist, beispielsweise mit einer Seltenerdverbindung. Auf Grund von Absorption von in die optische Faser eingekoppelter optischer Energie (dem sogenannten „Pumplicht“) wird im Kern der optischen Faser eine Besetzungsinversion der Energieniveaus des Dotierungsmaterials hervorgerufen, so dass bei einer oder mehreren Wellenlängen Lichtverstärkung resultiert. Laseraktive optische Fasern können als Faserlaser oder als Faserverstärker betrieben werden.

Unter dem Begriff „photonische Kristall-Faser“ (englisch: „photonic crystal fiber“) wird nachfolgend eine optische Faser verstanden, welche im Inneren strukturiert ist, und zwar in der Regel mittels mikroskopisch feiner Löcher in Quarzglas. Auf Grund der Strukturierung entsteht eine photonische Bandlücke (englisch: „photonic band gap“), so dass Licht eines bestimmten Wellenlängenbereichs in der optischen Faser geführt wird.

10

Unter dem Begriff „Faserspleiß“ wird nachfolgend eine Verbindung zwischen zwei optischen Fasern verstanden, welche nicht auf häufiges Trennen und Zusammenfügen ausgelegt ist, sondern vielmehr als dauerhafte Verbindung auf einen geringen Strahlungsverlust an der Verbindungsstelle optimiert ist. Typischerweise werden die Faserenden beim Faserspleiß miteinander verschweißt, beispielsweise mittels einer Hitzeeinwirkung oder eines elektrischen Lichtbogens.

15

Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Verfahren bekannt, um einen Teil des in einer optischen Faser geführten Lichts abzapfen (englisch: „tapping“) und zu detektieren. Eine Vielzahl dieser bekannten Verfahren beruht auf einer mechanischen Modifikation einer optischen Faser.

20
25

So beschreiben [1] und [2], wie mittels Fixierens einer optischen Faser und Anschneidens oder Polierens des Fasermantels das geführte Licht abgezapft werden kann. In [3] wird der Gebrauch eines aus lichtleitendem Material gefertigten Verbindungsstücks gelehrt, welches die Schutzschicht und den Mantel einer optischen Faser entfernt, so dass der Faserkern freigelegt wird und Licht in das Verbindungsstück eingekoppelt wird.

30

In [4] ist ein Verfahren zum Extrahieren von Licht aus einer optischen Faser beschrieben, bei welchem die optische Faser eingedrückt oder deformiert wird. Hierzu kann beispielsweise ein Keil auf die optische Faser gedrückt werden. Auf Grund
5 der Deformation können in der optischen Faser reflektierende Flächen geschaffen werden, welche einen Teil des Lichts auf einen entsprechend positionierten Detektor reflektieren.

Gemäß [5] kann eine periodische räumliche Deformation einer
10 optischen Faser genutzt werden, um Licht aus der optischen Faser abzuzweigen. Hierzu kann beispielsweise die optische Faser gegen eine feste, gitterartige Struktur gepresst werden. Bei gewissen, durch die Gitterperiode bestimmten, optischen Frequenzen kommt es zur Modenmischung, etwa
15 zwischen Kern- und Mantelmoden der optischen Faser. Die Mantelmoden können aus der optischen Faser abgezapft werden, wobei die Intensität der ausgekoppelten Leistung mittels der Stärke des Anpressdrucks variiert werden kann.

20 Aus dem Stand der Technik sind neben rein mechanischen Modifikationen der Faserstruktur auch Verfahren bekannt, welche sich chemischer Methoden bedienen.

So wird in [6] eine Abzapfvorrichtung beschrieben, bei
25 welcher in einer optischen Faser zunächst Mantelmoden induziert werden, welche anschließend an einer verjüngten Stelle der optischen Faser detektiert werden. Die Verjüngung wird produziert, indem beispielsweise nach Entfernen der Schutzschicht ein Teil des Fasermantels chemisch weggeätzt
30 wird.

Die oben beschriebenen Verfahren des Standes der Technik weisen einen oder mehrere der folgenden Nachteile auf: Auf Grund der Schwächung der Faserstruktur wird die mechanische

Stabilität der optischen Faser reduziert. Die Fertigung der beschriebenen Vorrichtungen ist oft kompliziert, aufwändig und teuer und birgt die Gefahr einer unbeabsichtigten Schädigung oder Zerstörung der optischen Faser, insbesondere des Faserkerns. Verfahren, welche eine mechanische oder chemische Verkleinerung des Fasermantels einschließen, haben weiterhin den Nachteil, dass das ausgekoppelte Licht relativ zur Ausbreitungsrichtung vorwiegend unter sehr kleinen Winkeln gestreut wird. Dies erschwert die Lichtdetektion und/oder macht hierzu komplexe Aufbauten nötig.

Eine zweite Gruppe von Verfahren verwendet eine hinreichend enge Biegung einer optischen Faser, um einen Teil der Lichtleistung zu extrahieren. Ein solcher „Biegekoppler“ wird beispielsweise in [7] beschrieben. Eine Vorrichtung zur Überwachung der in einer optischen Faser geführten Lichtleistung wird in [8] vorgestellt, wobei zunächst die im Mantel propagierenden Moden mittels eines sogenannten „mode stripper“, d.h. eines Materials, dessen Brechungsindex gleich oder größer als der des Mantels ist, entfernt werden. Anschließend wird ein Teil der geführten Lichtleistung über einen Biegekoppler ausgekoppelt.

In [9] wird eine Batterie- oder Solarzellen-betriebene Vorrichtung zur Messung der in einer optischen Faser geführten Leistung beschrieben, bei der mittels einer „Mikrobiegung“ ein Teil der Lichtleistung aus der optischen Faser entfernt wird. Eine solche Mikrobiegung wird hergestellt, indem die optische Faser an einer Stelle mit einem Biegeradius von vorzugsweise < 2 mm eng gebogen wird, wobei auf Grund eines lokalen Erhitzens die Temperatur der optischen Faser kurzfristig über den Schmelzpunkt angehoben wird. Nach dem Abkühlen ist die Mikrobiegung in der optischen Faser fixiert.

Ein Nachteil solcher Vorrichtungen besteht in der schwierigen Reproduzierbarkeit der ausgekoppelten Intensität, da der Anteil der ausgekoppelten Leistung von der Struktur und Zusammensetzung der jeweiligen optischen Faser abhängt. Außerdem besteht die Gefahr eines Faserbruchs, sofern nicht aufwändige Maßnahmen getroffen werden, um dies zu vermeiden ([10] beschreibt einen Biegekoppler mit Vorrichtungen, die in geeigneter Weise Kompressionsdruck auf die optische Faser ausüben, um die Gefahr eines Faserbruchs zu reduzieren). Ein anderer Nachteil solcher Vorrichtungen ergibt sich aus der ausgedehnten räumlichen Verteilung des abgestrahlten Lichts. So ist es schwierig, dieses Licht auf einem kleinen Photodetektor zu sammeln, was die Eignung solcher Koppler für schnelle Regelungen beeinträchtigt.

Thermisch hergestellte Mikrobiegungen, wie in [9] dargestellt, weisen neben der kritischen mechanischen Stabilität die fertigungstechnische Schwierigkeit auf, dass bei der Herstellung mindestens zwei Parameter (Temperatur und Biegeradius) überwacht werden müssen. Dies erhöht die Gefahr einer Schädigung der optischen Faser, beispielsweise auf Grund von zu hoher oder zu langer Temperatureinwirkung.

Bei einer weiteren Gruppe von Verfahren wird die Faser durchtrennt, um einen Teil der Lichtleistung abzapfen. So beschreibt [11] einen Strahlteiler, der mittels einer exakten koaxialen Ausrichtung zweier Faserstücke mit schräg gekanteten, zueinander parallelen Endflächen realisiert wird. An den Endflächen wird Licht aus der optischen Faser herausreflektiert. Dieses Verfahren erfordert jedoch eine extrem genaue und daher aufwändige Justage. Zudem besteht die Gefahr, dass mechanische Erschütterungen zu einem Versatz der

Faserstücke führen, wodurch der Lichtleiter unterbrochen wird.

Weiterentwicklungen dieser Idee beinhalten die Herstellung von Nahtstellen mittels Spleißens von Faserstücken. In [12] wird ein faseroptischer Leistungsmonitor vorgestellt, bei dem zwei optische Fasern mit unterschiedlichen Modenvolumina zusammengespleißt werden. Dabei ist das Modenvolumen der zweiten optischen Faser kleiner als das der ersten optischen Faser, so dass ein Teil des in der ersten optischen Faser geführten Lichts nicht in der zweiten optischen Faser propagieren kann. Das entstandene Streulicht an der Spleißstelle wird detektiert und dient als Regelsignal einer Leistungsregelung.

Das in [11] beschriebene Verfahren erfordert optische Fasern mit verschiedenen Modenvolumina, beispielsweise werden optische Fasern mit unterschiedlichen Brechungsindexprofilen verwendet. Jedoch sind im Fall von Single-Mode-Wellenleitern – speziell bei weniger verbreiteten Wellenlängen – geeignete optische Fasern mit unterschiedlicher Brechungsindexgeometrie nur schwer oder gar nicht erhältlich. Weiterhin ist dieses Verfahren bei der Verwendung von Multi-Mode-Wellenleitern von Nachteil, wenn sich das Strahlprofil bzw. die transversale Modenstruktur der Lichtquelle ändert, beispielsweise infolge von Leistungsschwankungen einer Laserlichtquelle oder infolge einer mechanischen Einwirkung auf die optische Faser (z.B. auf Grund von Berührens). In diesem Fall kann sich das Verhältnis der in den beiden optischen Fasern geführten Lichtleistung ändern. Somit ist dieses Verfahren hinsichtlich seiner Eignung, die in der zweiten optischen Faser geführte Leistung zu messen, fehleranfällig.

In [12] wird ein Verfahren gelehrt, bei dem eine optische Faser durchtrennt und eine der entstandenen Endflächen in einer Vakuumanlage mit einem dielektrischen Material (z.B. TiO_2) oder mit einem Metall (z.B. Ti) beschichtet wird.

- 5 Anschließend werden die Faserstücke wieder miteinander verschweißt. Dabei werden so lange Lichtbögen verabreicht, bis eine gewünschte Reflektivität der Nahtstelle erhalten wird.
- 10 Wesentliche Nachteile dieses Verfahrens sind der fertigungstechnische Aufwand auf Grund der Vakuum-Beschichtung sowie die hiermit verbundenen apparativen Kosten.
- 15 Wieder andere Verfahren benutzen eine Dotierung der optischen Faser mit Fremdatomen oder -partikeln, um einen Teil des Lichts mittels Reflexion oder Brechung auszukoppeln. Laut [13] kann Streulicht generiert werden, indem in die optische Faser eingebrachte Mittel (z.B. chemische Beimischungen)
- 20 genutzt werden, welche einen oder mehrere Faserparameter verändern. Diese Veröffentlichung verweist insbesondere auf „aktivierbare Mittel“, also beispielsweise Fremdatome, welche auf Grund der Einwirkung elektromagnetischer Strahlung, auf Grund von Hitze oder auf Grund von Elektronen- oder
- 25 Ionenbeschuss eine Änderung des Brechungsindex (oder eines anderen Faserparameters) hervorrufen.

- Ein Nachteil dieser Vorrichtung sind erhöhte Materialkosten, die auf Grund der Verwendung speziell gefertigter optischer
- 30 Fasern entstehen. Zudem besteht die Gefahr, dass infolge ungewollter Absorption die Transmissionseigenschaften einer solchen optischen Faser verschlechtert werden.

Die Verwendung von Licht-streuenden oder Licht-brechenden Partikeln im Kern eines Lichtleiters wird in [14]

beschrieben. Werden die Partikel bei der Faserherstellung eingebracht, so emittiert die optische Faser auf der ganzen
5 Länge Streulicht. Alternativ wird zunächst der Faserkern geformt, der mittels Hitze oder Strahlung behandelt wird, um lichtablenkende Störstellen zu generieren; oder die optische Faser wird nach Fertigstellung mittels ionisierender
10 Strahlung oder Laserlicht bestrahlt, wodurch mikroskopische Defizite in der Struktur des Faserkerns hervorgerufen werden.

Werden die Partikel bei der Faserherstellung eingebracht, so tritt auch hier der Nachteil einer hohen Dämpfung des
geführten Lichts auf. Zudem ist der relative Anteil der
15 ausgekoppelten Lichtleistung schwer zu kontrollieren. Andererseits wird in der Veröffentlichung darauf hingewiesen, dass die dort genannten Möglichkeiten nicht gut geeignet sind, um erst nach Fertigstellung der optischen Faser Streuzentren einzubringen.

20 Die vorliegende Erfindung hat somit zum Ziel, einen einfach, reproduzierbar und automatisiert zu fertigenden, preiswerten und kompakten Leistungsmonitor zur Überwachung der in einer optischen Faser geführten Lichtleistung zu realisieren.

25 Außerdem soll ein Aufbau mit einer hohen mechanischen Stabilität, insbesondere einer Langzeitstabilität, realisiert werden, so dass keine Gefahr einer unbeabsichtigten Schädigung der optischen Faser besteht.

30 Zur Überwachung der geführten Leistung ist eine Auskopplung eines Lichtsignals derart vorzunehmen, dass eine definierte und kontrollierbare Dämpfung des transmittierten Lichts besteht.

Auch soll die Detektion des aus der optischen Faser austretenden Lichtsignals mittels Streuzentren verbessert werden, ohne dass die geführte Lichtleistung ungewollt
5 beeinträchtigt wird.

Ein anderes Ziel der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Überwachung der in einer optischen Faser geführten Lichtleistung vorzustellen, welches für Single-Mode- und
10 Multi-Mode-Fasern, passive und laseraktive optische Fasern sowie photonische Kristall-Fasern geeignet ist.

Die oben genannten Probleme werden durch ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum Überwachen von in einer optischen Faser
15 geführter Lichtleistung mit den Merkmalen gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst.

Bei einem Verfahren zum Überwachen von in einer optischen Faser geführter Lichtleistung, wird die optische Faser
20 hinsichtlich ihrer Struktur an mindestens einer Zwischenstelle elektrothermisch modifiziert, wodurch Streulicht aus der optischen Faser emittiert werden kann. Das
aus der optischen Faser emittierte Streulicht wird dann
mittels eines Detektors erfasst. Dadurch kann die in der
25 optischen Faser geführte Lichtleistung überwacht werden.

Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass es mit einem geringen fertigungstechnischen Aufwand, mit geringen Herstellungskosten und mit einer hohen Reproduzierbarkeit
30 durchgeführt werden kann.

Das Prinzip der Erfindung besteht anschaulich darin, dass eine optische Faser an mindestens einer Zwischenstelle mittels elektrothermischer Behandlung in ihrer Struktur

verändert wird, so dass an der mindestens einen Zwischenstelle Streulicht aus der optischen Faser austritt. Es wird somit ein Teil des in die optische Faser eingekoppelten Lichts nicht mehr weiter in der optischen Faser geführt, sondern tritt aus der optischen Faser als Streulicht aus. Das Streulicht wird von einem Detektor erfasst und liefert einen Messwert für die in der optischen Faser geführte Lichtleistung. Die elektrothermische Behandlung der optischen Faser erfolgt insbesondere mittels Lichtbögen.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird das aus der optischen Faser emittierte Streulicht vorzugsweise mittels eines lichtstreuenden, lichtbrechenden oder lichtreflektierenden Materials oder mittels eines lichtabsorbierenden und nachfolgend lichtemittierenden Materials, welches die optische Faser an der mindestens einen Zwischenstelle umgibt, nutzbar gemacht.

In einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung erfolgt die Modifikation der optischen Faser an der mindestens einen Zwischenstelle dadurch, dass die optische Faser an der jeweiligen Zwischenstelle zunächst durchtrennt wird, und danach die zugehörigen Faserenden miteinander verspleißt werden, so dass jede Zwischenstelle von jeweils einer Spleißstelle der Faserenden gebildet wird. In der Umgebung jeder Spleißstelle wird folglich ein Teil des geführten Lichts aus der Faser herausreflektiert, -gestreut oder -gebrochen.

Mindestens eine Spleißstelle kann eine unvollkommene Zwischenstelle bilden und/oder elektrothermisch nachbehandelt werden. Unter einer unvollkommenen Zwischenstelle wird eine Stelle der optischen Faser verstanden, mittels welcher

optische Verluste bzw. Veränderungen der Intensität des geführten Lichts verursacht werden. Diese Nachbehandlung kann beispielsweise mittels Lichtbögen erfolgen. Während der Nachbehandlung wird die durch die optische Faser transmittierte Lichtleistung überwacht und wird die Nachbehandlung fortgesetzt, bis eine vorgegebene Dämpfung der transmittierten Lichtleistung erreicht wird.

10 In einem alternativen, zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung wird die elektrothermische Modifikation unmittelbar an einer unversehrten Zwischenstelle der optischen Faser durchgeführt.

15 Die Modifikation kann beispielsweise mittels Lichtbögen erfolgen. Während der Modifikation wird die durch die optische Faser transmittierte Lichtleistung überwacht und wird die Modifikation fortgesetzt, bis eine vorgegebene Dämpfung der transmittierten Lichtleistung erreicht wird.

20 Vorzugsweise wird mindestens eine Zwischenstelle von einem granularen Material oder von einem fluoreszierenden oder phosphoreszierenden Material umgeben, wodurch an der mindestens einen Zwischenstelle die Anzahl der Streuzentren erhöht wird. Insbesondere erfolgt das Umgeben der mindestens einen Zwischenstelle mit granulearem Material oder mit fluoreszierendem oder phosphoreszierendem Material nach der elektrothermischen Modifikation der optischen Faser. Dadurch kann das nutzbare Lichtsignal am Detektor erhöht werden. Dieses granulare oder fluoreszierende bzw. phosphoreszierende Material kann mit einem Kleber vermischt werden, welcher
30 seinerseits zum Fixieren der optischen Faser verwendet wird.

Als granulares Material kann Glasmehl, beispielsweise mit einem Partikeldurchmesser von $< 100 \mu\text{m}$, vorzugsweise mit

einem Partikeldurchmesser von 40 μm bis 60 μm , verwendet werden. Das fluoreszierende oder phosphoreszierende Material wird derart ausgewählt, dass das fluoreszierende oder phosphoreszierende Material zur Wellenlängenkonversion des Streulichts dient, um das Streulicht an die Detektorempfindlichkeit anzupassen.

Um Umgebungslicht vom Detektor fernzuhalten, kann dieser bei beiden Ausführungsbeispielen zum Beispiel zumindest teilweise mit absorbierendem Material ummantelt werden. Auf diese Weise wird der Detektor vor Streulicht aus unerwünschten Richtungen geschützt. Das absorbierende Material kann mit einem Kleber vermischt werden, welcher seinerseits zum Fixieren des Detektors verwendet wird. Als absorbierendes Material kann insbesondere Siliziumkarbid oder Kohlepulver verwendet werden.

Erfindungsgemäß kann als optische Faser eine Single-Mode-Faser, eine Multi-Mode-Faser, eine polarisationserhaltende optische Faser, eine laseraktive optische Faser und/oder eine photonische Kristall-Faser verwendet werden.

Vorzugsweise wird die Lichtleistung nach ihrem Durchgang durch die optische Faser mit dem von dem Detektor detektierten Streulicht korreliert. Die Lichtleistung nach ihrem Durchgang durch die optische Faser ist insbesondere direkt proportional zu dem von dem Detektor detektierten Streulicht.

Durch die optische Faser wird Licht einer Lichtquelle transmittiert. Das aus der optischen Faser emittierte und mittels des Detektors erfasste Streulicht wird dann bevorzugt zur Leistungsregelung der Lichtquelle und/oder zur Regelung der Einkoppeleffizienz des Lichts der Lichtquelle in die

optische Faser verwendet. Anschaulich wird das gemessene Signal des Detektors relativ zur Ausgangsleistung kalibriert und kann dieses anschließend als Ist-Wert einer Regelungsschleife dienen, welche die in die optische Faser eingekoppelte Leistung der Lichtquelle oder den Einkoppelmechanismus der Lichtquelle in die optische Faser reguliert.

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zum Überwachen von in einer optischen Faser geführter Lichtleistung weist eine optische Faser und einen Detektor auf, wobei die optische Faser hinsichtlich ihrer Struktur an mindestens einer Zwischenstelle elektrothermisch modifiziert ist, wodurch Streuzentren gebildet sind, an denen Streulicht aus der optischen Faser emittiert werden kann, und wobei der Detektor derart eingerichtet ist, dass er das aus der optischen Faser emittierte Streulicht erfassen kann, wodurch die in der optischen Faser geführte Lichtleistung überwacht werden kann.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist vorzugsweise mittels einer Ausgestaltung des oben beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahrens hergestellt bzw. kann eine Ausgestaltung des oben beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahrens durchführen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Figuren dargestellt und werden nachfolgend näher erläutert. Dabei bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche Komponenten.

Es zeigen:

Fig.1 eine Prinzipskizze einer Vorrichtung zum Überwachen der in einer optischen Faser geführten Lichtleistung gemäß der Erfindung;

Fig.2 ein Flussdiagramm zum Modifizieren einer optischen Faser gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig.3 ein Flussdiagramm zum Modifizieren einer optischen Faser gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig.4 einen Grundkörper eines Leistungsmonitors gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung; und

Fig.5 eine Kalibrierungskurve eines Leistungsmonitors gemäß Fig.4.

Fig.1 skizziert einen erfindungsgemäßen Aufbau einer fasergekoppelten Lichtquelle mit integriertem Leistungsmonitor.

Aus einer Lichtquelle 101 austretendes Licht 102 wird von einer Optik 103 kollimiert und mittels einer fokussierenden Optik 104 in eine optische Faser 105 eingekoppelt. Die optische Faser 105 ist an einer Zwischenstelle 106 hinsichtlich ihrer Struktur dahingehend modifiziert, dass Streulicht 107 austritt. Das Streulicht 107 wird von einem Detektor 108 erfasst. Das daraufhin von dem Detektor 108 ausgegebene Detektorsignal kann einer Regelungselektronik 109 zugeführt werden, welche die Lichtquelle 101 steuert.

Die Zwischenstelle 106 an der optischen Faser 105 kann mittels verschiedener Prozesse hergestellt werden. Ein möglicher Prozess gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in **Fig.2** als Flussdiagramm dargestellt. Bei diesem Prozess wird als „Referenzmessung“ zunächst die durch die optische Faser 105 hindurch transmittierte Lichtleistung der Lichtquelle 101 bestimmt und anschließend die optische Faser 105 durchtrennt, so dass Faserstücke gebildet werden.

Die entstandenen Faserstücke werden an den Trennstellen von der Schutzschicht befreit (sogenanntes „stripping“) und gesäubert. Die Endflächen der Faserstücke werden gerade und kontrolliert gebrochen (sogenanntes „cleaving“). Dann werden
5 die Faserstücke in einem Spleißgerät positioniert und derart miteinander verspleißt, dass an der Spleißstelle ein Teil der geführten Lichtleistung als Streulicht austreten kann. Hierzu kann eine unvollkommene Nahtstelle generiert werden, indem beispielsweise der Spleiß mit einem leichten Versatz der
10 beiden Faserenden hergestellt wird.

Alternativ kann zunächst ein möglichst guter Spleiß hergestellt und die Spleißstelle anschließend modifiziert werden. Zum Modifizieren eignet sich beispielsweise die
15 Applikation weiterer elektrischer Entladungsbögen, wodurch es zu einer leichten Beschädigung der Struktur der optischen Faser bzw. zur partiellen Mischung der Materialien von Kern und Mantel kommt, so dass an der behandelten Stelle Streulicht auftritt. Während der Lichtbogenbehandlung wird
20 vorzugsweise die durch die optische Faser transmittierte Lichtleistung überwacht und die Lichtbogenbehandlung solange fortgesetzt, bis relativ zur Referenzmessung eine gewünschte Dämpfung der durch die optische Faser transmittierten
Lichtleistung, beispielsweise um 0,5...1 dB, erreicht ist.

25 Eine alternative Prozedur zum Modifizieren einer optischen Faser gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist als Flussdiagramm in **Fig.3** dargestellt. Am Fasereingang wird Licht in den Faserkern eingekoppelt und am Faserende die transmittierte Lichtleistung gemessen. An der optischen Faser
30 wird an der zu bearbeitenden Stelle die Schutzschicht entfernt und der freigelegte Fasermantel gesäubert. Der Fasermantel wird an der freigelegten Stelle mittels Lichtbögen behandelt, so dass an dieser Stelle ein Teil des

Lichts nicht mehr in der optischen Faser geführt wird, sondern aus der optischen Faser austritt. Mittels einer Kontrolle der Parameter der Lichtbögen (z.B. Dauer, Wiederholfrequenz) kann die Intensität des Streulichts eingestellt werden, indem die durch die optische Faser transmittierte Leistung überwacht wird und die Lichtbogenbehandlung solange fortgesetzt wird, bis eine gewünschte Dämpfung erreicht ist. Bei dieser Prozedur entfällt das Durchtrennen und erneute Verschweißen der optischen Faser, wodurch eine Zeitersparnis, eine höhere mechanische Stabilität und eine bessere Reproduzierbarkeit der Ergebnisse erreicht werden.

Fig.4 zeigt den Grundkörper eines Leistungsmonitors gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung. Die optische Faser 105 wird in einen Halterungsblock 110 eingeklebt, welcher insbesondere die Zwischenstelle 106 umgibt und schützt. An der Zwischenstelle 106 entstandenes Streulicht wird von einer als Detektor verwendeten Photodiode detektiert (nicht dargestellt), welche in einem Deckelkörper (nicht dargestellt) angeordnet ist.

Zum Einkleben der optischen Faser 105 wird ein Kleber 111 verwendet, gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ein lichthärtendes Photopolymer. Um in der Umgebung der Zwischenstelle 106 einen möglichst großen Streulichtanteil detektieren zu können, kann dem Kleber 111 ein granulares Material 112 beigemischt werden, welches zusätzliche Streuzentren schafft. So hat sich beispielsweise eine Mischung aus 50 Gewichtsprozent Kleber und 50 Gewichtsprozent Glasmehl (Glasstaub aus Glaskügelchen mit einem Durchmesser von $< 50 \mu\text{m}$) als geeignet erwiesen. Die dadurch geschaffenen Streuzentren bewirken eine Homogenisierung der Winkelverteilung des gestreuten Lichts und erlauben

insbesondere eine Streulichtdetektion orthogonal zur Faserachse. Anstelle von Glasmehl können dem Kleber in der Umgebung der Zwischenstelle 106 alternativ fluoreszierende oder phosphoreszierende Stoffe beigemischt werden, wodurch
5 eine Anpassung des Streulichts an die maximale Empfindlichkeit des Detektors realisiert werden kann.

Die Photodiode ist vor störendem Umgebungslicht zu schützen, welches das Messsignal sonst verfälschen würde. Um diesen
10 Schutz zu gewährleisten, kann zum Einkleben der Photodiode in den Deckelkörper ein Kleber verwendet werden, welchem ein lichtabsorbierendes Material beigemischt wird. Dieses lichtabsorbierende Material variiert je nach Wellenlänge (UV, sichtbares Licht, IR). Geeignete Materialien bei ungefähr
15 400 nm sind beispielsweise Siliziumkarbid oder Kohlepulver.

Nach der Fertigung wird der Leistungsmonitor einmal kalibriert und kann dann in eine Regelschleife, beispielsweise zur Regelung der von der Lichtquelle in die
20 optische Faser eingekoppelten Lichtleistung, integriert werden. **Fig.5** zeigt eine Kalibrierungskurve, in welcher das von der Photodiode gemessene Spannungssignal U_{PD} als Funktion der durch die optische Faser transmittierten Lichtleistung P dargestellt ist.

25 Die Kalibrierungskurve dieses Ausführungsbeispiels wurde mit folgenden Vorgaben für den erfindungsgemäßen Leistungsmonitor gemessen: Als Lichtquelle diente ein violetter Diodenlaser mit einer Ausgangswellenlänge von 405 nm. Es wurde eine für
30 violette Licht geeignete Single-Mode-Faser aus Quarzglas verwendet, deren Faserkern einen Durchmesser von 3 μm sowie einen Brechungsindex von 1,4735 aufweist, deren Fasermantel eine Dicke von ungefähr 125 μm sowie einen Brechungsindex von 1,4695 aufweist und deren Schutzschicht aus Acrylat eine

Dicke von 250 μm aufweist. In einem Abstand von ungefähr 10 cm hinter der Einkoppelungsoptik wurde die optische Faser durchtrennt und wieder verspleißt, wie zuvor beschrieben.

- 5 Der Graph der Kalibrierungskurve in Fig.5 zeigt einen linearen Zusammenhang mit einer Korrelation $R = 0,99989$ zwischen dem Signal des Streulicht-Detektors und der transmittierten Lichtleistung. Eine lineare Regression ergibt für eine Geradengleichung $y = m \cdot x + b$ eine Steigung m von
- 10 $m = (20,5 \pm 0,1) \text{ mV/mW}$ und einen Achsenabschnitt b von $b = (0,1 \pm 0,6) \text{ mV}$. Der Offset ist also im Rahmen der Messgenauigkeit mit Null verträglich.

- Die Erfindung zeichnet sich gegenüber dem Stand der Technik
- 15 dadurch aus, dass der erfindungsgemäße Leistungsmonitor einfach und preiswert gefertigt werden kann sowie ein kompaktes und platzsparendes Design und einen mechanisch robusten Aufbau aufweist. Zur Fertigung ist keine teure Ausrüstung, wie beispielsweise ein in [13] verwendeter
- 20 Vakuumpumpstand, erforderlich. Zum Applizieren der Lichtbögen kann ein handelsübliches Spleißgerät verwendet werden.

- Bei der Fertigung und Anwendung des beschriebenen erfindungsgemäßen Leistungsmonitors besteht keine Gefahr
- 25 einer unbeabsichtigten Schädigung oder Zerstörung der optischen Faser. Die mechanische Stabilität der optischen Faser wird nicht wesentlich reduziert. Der Aufbau weist eine hohe Stabilität gegenüber mechanischen Erschütterungen sowie eine hohe Langzeitstabilität auf. Somit eignet sich der
- 30 erfindungsgemäße Leistungsmonitor insbesondere bei industriellen Anwendungen fasergekoppelter Lichtquellen.

Mittels Überwachens der transmittierten Lichtleistung während des Fertigungsverganges wird die auf Grund der Modifikation

auftretende Dämpfung in der optischen Faser kontrolliert und ein definierter Streulichtanteil zur Leistungsüberwachung generiert. Ein sich änderndes Strahlprofil der Lichtquelle, etwa infolge von Alterungserscheinungen, beeinträchtigt nicht
5 die Funktion des Leistungsmonitors.

Auf Grund des Schaffens zusätzlicher Streuzentren, etwa mittels Einmischens eines granularen Materials in einen verwendeten Kleber, wird der nutzbare Streulichtanteil
10 optimiert. Da die Streuzentren lokalisiert sind, d.h. nicht auf die ganze Länge der optischen Faser verteilt sind, und außerhalb des Faserkerns liegen, wird die Lichttransmission durch die optische Faser nicht unbeabsichtigt beeinträchtigt.

15 Die beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich ohne wesentliche Veränderung des notwendigen Aufbaus auf Single-Mode- und Multi-Mode-Fasern gleichermaßen anwenden, da sie unabhängig von der Struktur und Zusammensetzung der jeweiligen optischen Faser sind. Das im zweiten
20 Ausführungsbeispiel beschriebene Verfahren, welches auf ein Durchtrennen der optischen Faser verzichtet, ist insbesondere auch für polarisationserhaltende optische Fasern einfach anwendbar und gut geeignet.

25 Neben der beschriebenen Anwendung der beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren auf passive faseroptische Wellenleiter ist weiterhin eine Anwendung bei laseraktiven optischen Fasern möglich, beispielsweise bei optischen Fasern mit einem dotierten Faserkern, welcher beispielsweise mit
30 Ytterbium, Erbium, Praseodym oder Neodym sowie einer Kombination dieser Elemente dotiert sein kann. Außerdem können die beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren auch auf photonische Kristall-Fasern angewendet werden.

Exemplarische Anwendungsgebiete sind eine kontinuierliche „online“-Überwachung der Leistung einer Lichtquelle, beispielsweise eines Lasers, etwa zur Detektion alterungsbedingter Veränderungen bei der Lichtleistung.

- 5 Alternativ können die erfindungsgemäßen Verfahren auch zur Kontrolle einer Fasereinkopplung, wenn beispielsweise piezoelektrisch gesteuerte Einkoppeloptiken verwendet werden, eingesetzt werden.

In dieser Anmeldung sind folgende Veröffentlichungen zitiert:

- [1] US 4 398 795
- [2] EP 0 619 506
- 5 [3] EP 1 014 131
- [4] EP 1 008 876
- [5] US 4 781 428
- [6] US 4 887 879
- [7] US 3 936 631
- 10 [8] US 5 080 506
- [9] US 5 591 964
- [10] US 5 039 188
- [11] US 4 165 496
- [12] US 4 475 789
- 15 [13] US 4 923 273
- [14] US 4 618 211
- [15] US 4 466 697

Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen von in einer optischen Faser
geführter Lichtleistung,
 - 5 ◦ bei dem die optische Faser hinsichtlich ihrer Struktur an
 mindestens einer Zwischenstelle elektrothermisch
 modifiziert wird, wodurch Streulicht aus der optischen
 Faser emittiert werden kann, und
 - 10 ◦ bei dem das aus der optischen Faser emittierte Streulicht
 mittels eines Detektors erfasst wird, wodurch die in der
 optischen Faser geführte Lichtleistung überwacht werden
 kann.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem das aus der optischen
15 Faser emittierte Streulicht mittels eines
 lichtstreuenden, lichtbrechenden oder
 lichtreflektierenden Materials oder mittels eines
 lichtabsorbierenden und nachfolgend lichtemittierenden
 Materials, welches die optische Faser an der mindestens
20 einen Zwischenstelle umgibt, nutzbar gemacht wird.
3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, bei dem die
25 Modifikation der optischen Faser an der mindestens einen
 Zwischenstelle dadurch erfolgt, dass die optische Faser
 an der jeweiligen Zwischenstelle zunächst durchtrennt
 wird und danach die zugehörigen Faserenden miteinander
 verspleißt werden, so dass jede Zwischenstelle von
 jeweils einer Spleißstelle der Faserenden gebildet wird.
- 30 4. Verfahren gemäß Anspruch 3, bei dem mindestens eine
 Spleißstelle eine unvollkommene Zwischenstelle bildet.
5. Verfahren gemäß Anspruch 3 oder 4, bei dem mindestens
 eine Spleißstelle elektrothermisch nachbehandelt wird.

6. Verfahren gemäß Anspruch 5, bei dem die Nachbehandlung mittels Lichtbögen erfolgt.

5 7. Verfahren gemäß Anspruch 5 oder 6, bei dem während der Nachbehandlung die durch die optische Faser transmittierte Lichtleistung überwacht wird und die Nachbehandlung fortgesetzt wird, bis eine vorgegebene Dämpfung der transmittierten Lichtleistung erreicht wird.

10

8. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, bei dem die elektrothermische Modifikation unmittelbar an einer unversehrten Zwischenstelle der optischen Faser durchgeführt wird.

15

9. Verfahren gemäß Anspruch 8, bei dem die Modifikation mittels Lichtbögen durchgeführt wird.

20

10. Verfahren gemäß Anspruch 8 oder 9, bei dem während der Modifikation die durch die optische Faser transmittierte Lichtleistung überwacht wird und die Modifikation fortgesetzt wird, bis eine vorgegebene Dämpfung der transmittierten Lichtleistung erreicht wird.

25 11. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem mindestens eine Zwischenstelle von einem granularen Material umgeben wird, wodurch an der mindestens einen Zwischenstelle die Anzahl der Streuzentren erhöht wird.

30 12. Verfahren gemäß Anspruch 11, bei dem das granulare Material mit einem Kleber vermischt ist, welcher seinerseits zum Fixieren der optischen Faser verwendet wird.

13. Verfahren gemäß Anspruch 12, bei dem als granulares Material Glasmehl verwendet wird.
14. Verfahren gemäß Anspruch 13, bei dem Glasmehl mit einem
5 Partikeldurchmesser von $< 100 \mu\text{m}$ verwendet wird.
15. Verfahren gemäß Anspruch 13 oder 14, bei dem Glasmehl mit einem Partikeldurchmesser von $40 \mu\text{m}$ bis $60 \mu\text{m}$ verwendet wird.
- 10 16. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem mindestens eine Zwischenstelle von einem fluoreszierenden oder phosphoreszierenden Material umgeben wird, wodurch an der mindestens einen
15 Zwischenstelle der Anteil des detektierbaren Streulichts erhöht wird.
17. Verfahren gemäß Anspruch 16, bei dem das fluoreszierende oder phosphoreszierende Material derart ausgewählt wird,
20 dass das fluoreszierende oder phosphoreszierende Material zur Wellenlängenkonversion des Streulichts dient, um das Streulicht an die Detektorempfindlichkeit anzupassen.
18. Verfahren gemäß Anspruch 16 oder 17, bei dem das
25 fluoreszierende oder phosphoreszierende Material mit einem Kleber vermischt ist, welcher seinerseits zum Fixieren der optischen Faser verwendet wird.
19. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, bei
30 dem der Detektor zumindest teilweise mit absorbierendem Material ummantelt wird, wodurch der Detektor vor Streulicht aus unerwünschten Richtungen geschützt wird.

20. Verfahren gemäß Anspruch 19, bei dem das absorbierende Material mit einem Kleber vermischt ist, welcher seinerseits zum Fixieren des Detektors verwendet wird.

5 21. Verfahren gemäß Anspruch 19 oder 20, bei dem als absorbierendes Material Siliziumkarbid oder Kohlepulver verwendet wird.

10 22. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem als optische Faser eine Single-Mode-Faser, eine Multi-Mode-Faser, eine polarisationserhaltende optische Faser, eine laseraktive optische Faser und/oder eine photonische Kristall-Faser verwendet wird.

15 23. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Lichtleistung nach ihrem Durchgang durch die optische Faser mit dem von dem Detektor detektierten Streulicht korreliert wird.

20 24. Verfahren gemäß Anspruch 23, bei dem die Lichtleistung nach ihrem Durchgang durch die optische Faser direkt proportional zu dem von dem Detektor detektierten Streulicht ist.

25 25. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem durch die optische Faser Licht einer Lichtquelle transmittiert wird und bei dem das aus der optischen Faser emittierte und mittels des Detektors erfasste Streulicht zur Leistungsregelung der Lichtquelle
30 verwendet wird.

26. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem durch die optische Faser Licht einer Lichtquelle transmittiert wird und bei dem das aus der optischen

Faser emittierte und mittels des Detektors erfasste Streulicht zur Regelung der Einkoppeleffizienz des Lichts der Lichtquelle in die optische Faser verwendet wird.

- 5 27. Vorrichtung zum Überwachen von in einer optischen Faser
geführter Lichtleistung,
- mit einer optischen Faser, welche hinsichtlich ihrer
Struktur an mindestens einer Zwischenstelle
elektrothermisch modifiziert ist, wodurch an der
10 mindestens einen Zwischenstelle Streulicht aus der
optischen Faser emittiert werden kann, und
 - mit einem Detektor, welcher derart eingerichtet ist, dass
er das aus der optischen Faser emittierte Streulicht
erfassen kann, wodurch die in der optischen Faser
15 geführte Lichtleistung überwacht werden kann.
28. Vorrichtung gemäß Anspruch 27, welche mittels eines
Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 2 bis 22 hergestellt
ist.
- 20 29. Vorrichtung gemäß Anspruch 27 oder 28, welche ein
Verfahren gemäß einem der Ansprüche 23 bis 26 durchführen
kann.

**Verfahren und Vorrichtung zum Überwachen von in einer
optischen Faser geführter Lichtleistung**

Zusammenfassung

5

Verfahren zum Überwachen von in einer optischen Faser (105)
geführter Lichtleistung, bei dem die optische Faser (105)
hinsichtlich ihrer Struktur an mindestens einer
Zwischenstelle (106) elektrothermisch modifiziert wird,
10 wodurch Streulicht aus der optischen Faser (105) emittiert
werden kann, und bei dem das aus der optischen Faser
emittierte Streulicht mittels eines Detektors erfasst wird,
wodurch die in der optischen Faser (105) geführte
Lichtleistung überwacht werden kann.

15

(signifikante Fig.1)

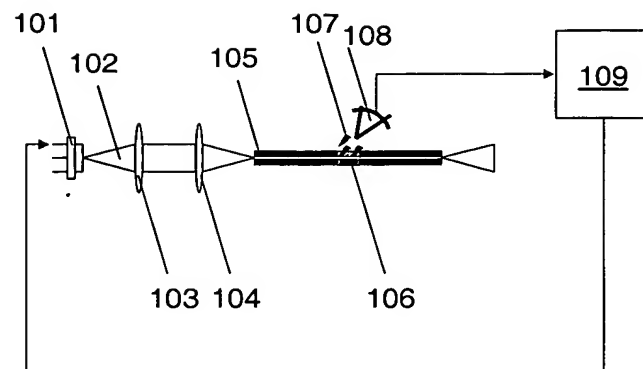


Fig.1

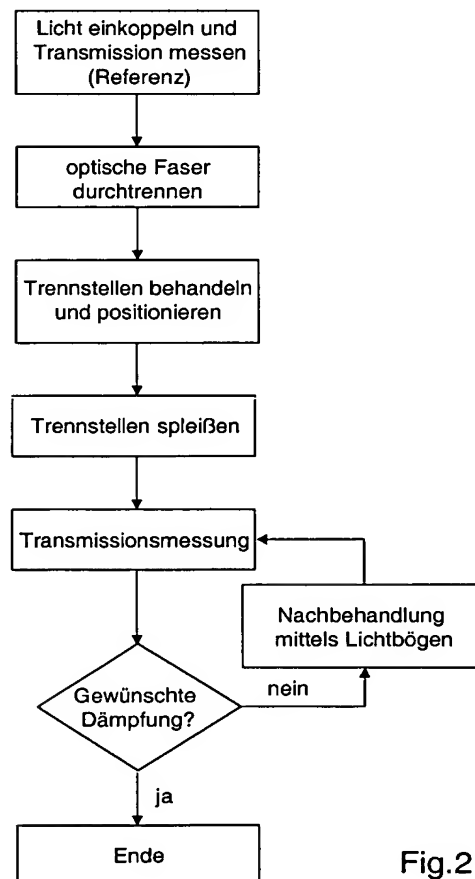


Fig.2

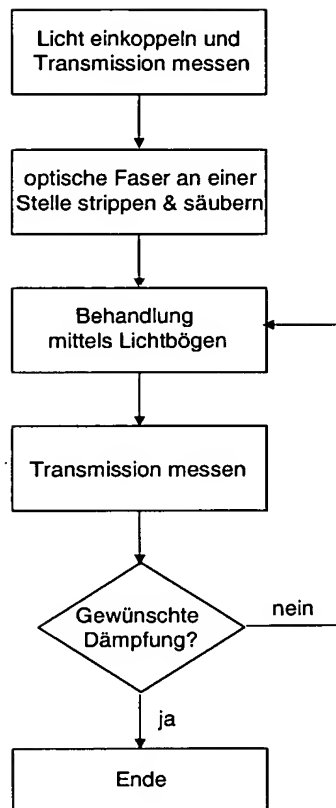


Fig.3

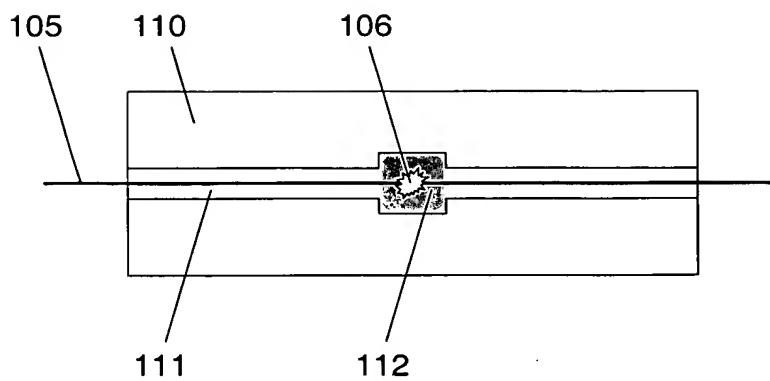


Fig. 4

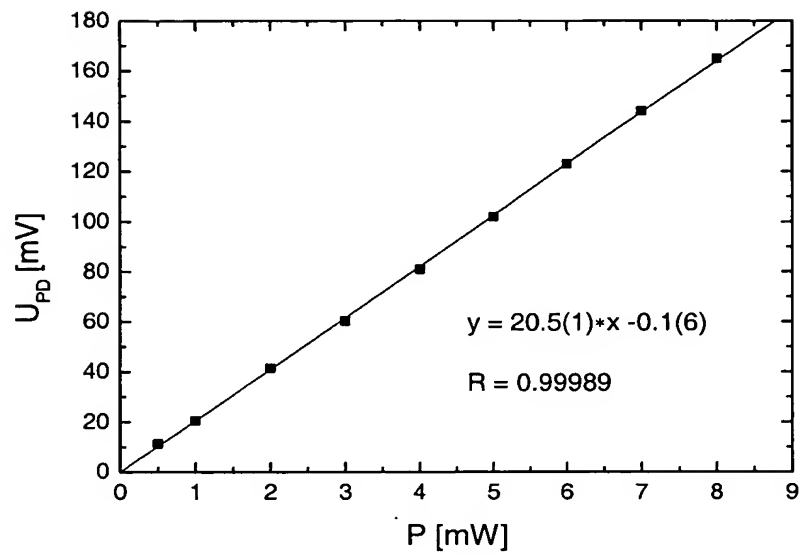


Fig.5